

# *Use of Uranium Isotope Method in Hydrology*

**Tamara V. Tuzova**

High Mountain Lakes Laboratory,  
Institute of Water Problems and Hydro Power,  
National Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyz Republic

***tv\_tuzova@mail.ru***

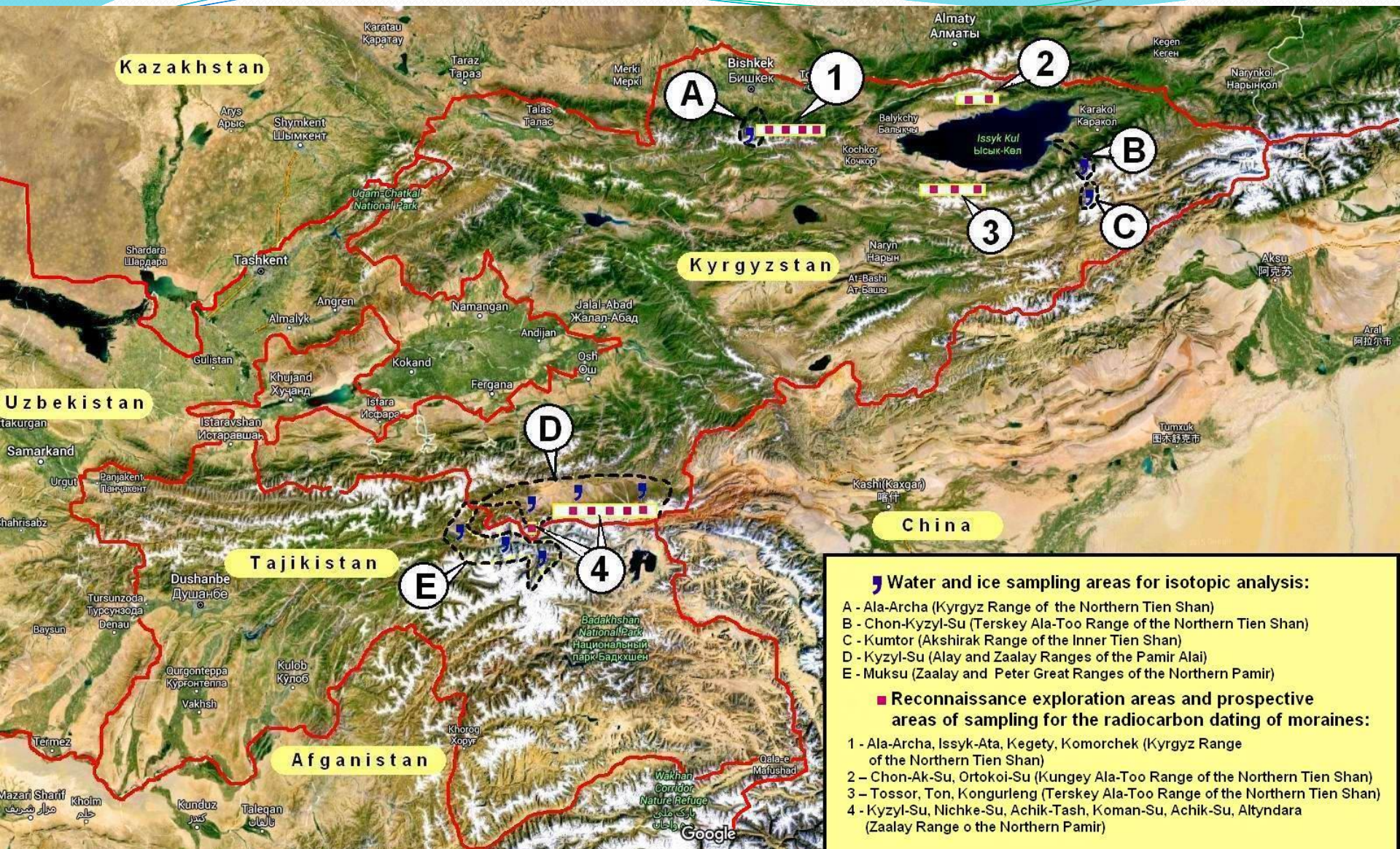
# Introduction

- The  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  ratios in natural water sources of different genesis have been found to be different (Tuzova T., 2005, 2006). It is determined that the isotopic ratio is stable over time in individual water sources if the hydrological environment is invariable (Uralbekov B. et al, 2014). The examples of closed water bodies in Central Asia (Aral Sea, Balkhash, Issyk-Kul, Chatyr-Kul) show that uranium isotope ratios can be used for absolute dating of their waters (Tuzova T., 1966-1980). For Kyrgyzstan, the uranium isotope method has proved to be an effective tool in tracing underground water flows in alluvial cones of mountain rivers (Chalov et al, 1968-1980). Over the past decades, the method has been increasingly used to define the genesis of surface and ground waters, in studies of transboundary mountain rivers with limited hydrometric networks, and in radiological water monitoring (Tuzova T. et al, 1980-2016).

На примерах водных объектов Тянь-Шаня, Алая и Памира в пределах Кыргызской Республики и Республики Таджикистан показаны особенности миграции изотопов урана и формирования изотопных соотношений  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в зонах формирования стока трансграничных горных рек.









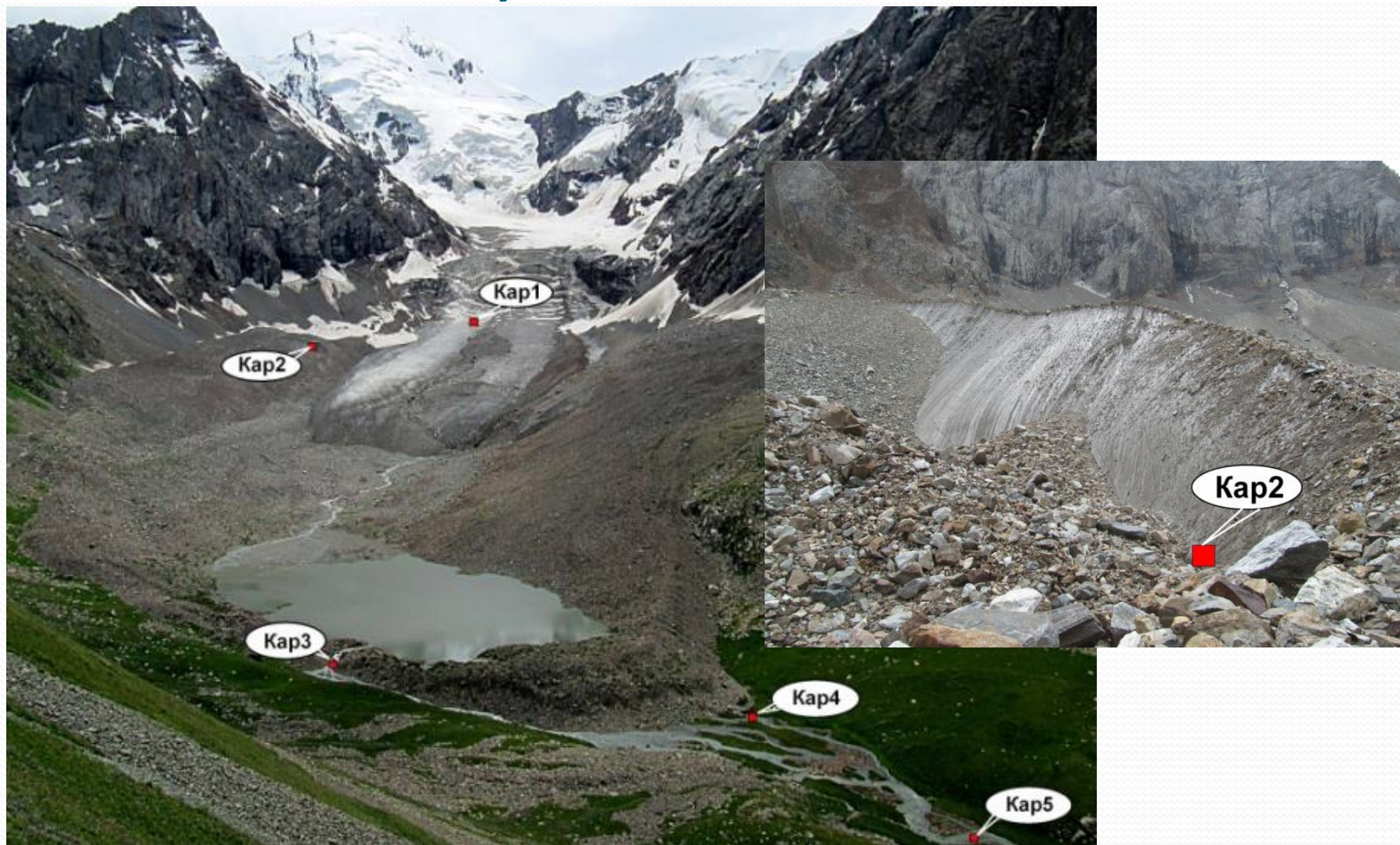
# Краткое описание проблемы

- В связи с проявляющимися изменениями климата и деградации оледенения возникла необходимость переоценки водных ресурсов трансграничных рек при новой системе водораспределения между независимыми государствами ЦА. В бассейнах трансграничных рек Чу (Северный Тянь-Шань), Кызылсу, Вахш (Памиро-Алай), Гунт, Пяндж (Памир) крайне недостаточная сеть гидрометрических наблюдений. Это не дает возможности оценить истинные расходы рек и их объем стока как в межень, так и в половодье.
- Разработанный в ИВПиГЭ НАН КР изотопный метод оценки относительного распределения объема жидкого стока по соотношению четных изотопов урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в сливающихся потоках апробирован на перечисленных реках и дал положительные результаты. При наличии в речном бассейне хотя бы одного надежного гидрометрического поста с помощью этого метода можно на момент опробования оценить сток всех притоков без дополнительного строительства на них гидрометрических постов наблюдений.
- Нами сделана попытка решить обозначенные проблемы по PEER-проекту, финансируемому USAID.

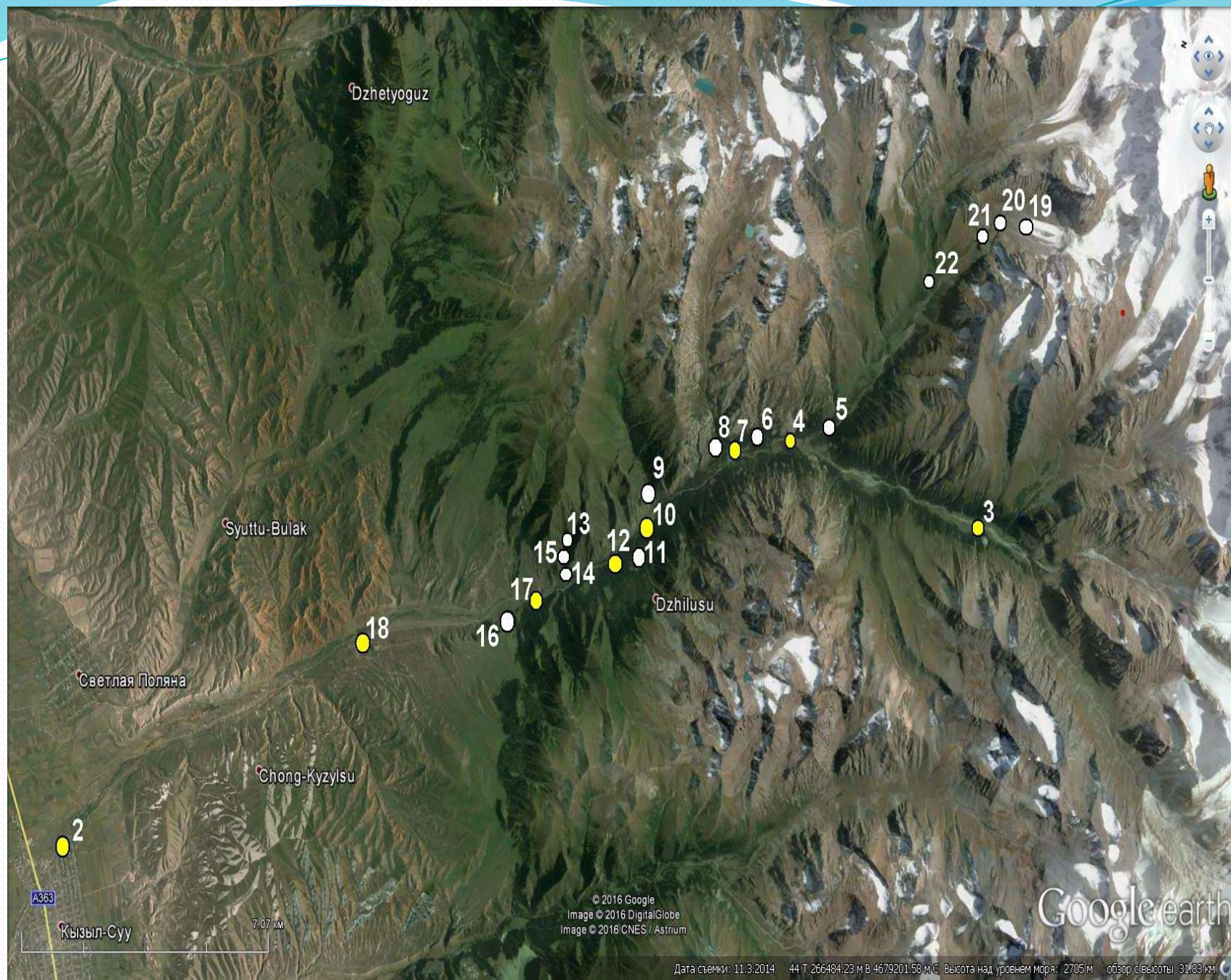
# **Формирование изотопного состава урана в речных водах**

- Речной сток ЦА формируется в основном за счет атмосферных осадков и таяния ледников. В атмосферных осадках из-за растворения эоловой пыли обнаружены низкие, но измеримые альфа-спектрометрически концентрации урана с равновесным соотношением генетически связанных в ряду распада изотопов урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ .
- Нами изучен изотопный состав урана в ледниках, приледниковых водах и зонах формирования стока трансграничных горных рек Центральной Азии в пределах Кыргызстана и Таджикистана.

# Приледниковая зона Чон-Кызылсу Северный Тянь-Шань









# Изотопы урана в приледниковых водах Чон-Кызылсу

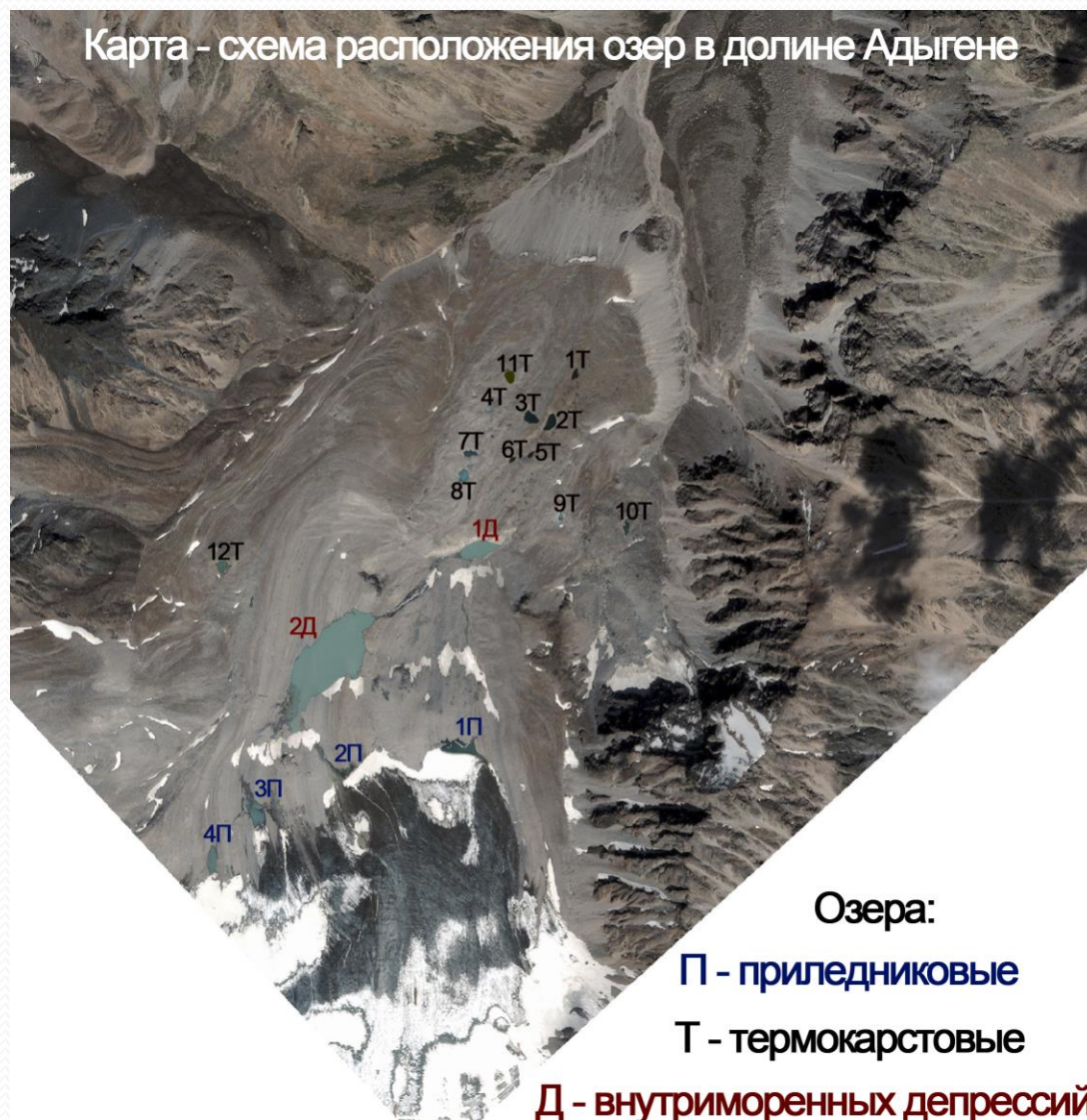
Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота м	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$\text{C}_{\text{U}} \cdot 10^{-6}$ , г/л
Кар1-15	Молодой лед ледника Карабаткак (осадки 2014-15 гг.)	N42°09'14.82 E78°16'08.95	3500	1,00±0,04	0,17±0,04
Кар2-15	Старый лед ледника Карабаткак	N42°09'22.50 E78°16'10.55	3385	1,05±0,05	0,32±0,05
KZS19-16	Лед с поверхности ледника Карабаткак	N42°09'14.8 E78°16'08.95	3387	1,29±0,17	0,14±0,04
KZS20-16	Озеро Карабаткак	N42°09'32.50 E78°16'13.55	3383	0,84±0,07	0,40±0,06
KZS6-16	Ручей с ледника Айлама	N42°11'58" E78°11'48"	2610	0,99±0,09	0,20±0,03
KZS21-16	Р.Кашкатор перед слиянием с р.Айлама	N42°14'10.4 E78°14'15.30	2942	1,00±0,08	0,36±0,06
Среднее для приледниковых зон Чон-Кызылсу				1,03±0,03	0,3±0,1

# Изменение изотопного состава урана в зоне формирования стока р.Чон-Кызылсу

Обогащение ураном вод в зоне формирования стока р.Чон-Кызылсу						
Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота, м		$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$\text{C}_{\text{U}} \cdot 10^{-6}$ г/л
Кар4--15	Родник из-под ледника Кашкатор	N42°10'17.39 E78°15'00.39	2980		0,92±0,08	1,00±0,08
Кар5--15	Р.Кашкатор после слияния с родником в языке ледника	N42°10'15.39 E78°15'00.03	2962		1,00±0,05	1,38±0,09
KZS-5-16	Устье р.Кашкатор	N42°14'10.43 E78°14'15.30	2942		1,09±0,03	2,88±0,13
KZS-22-16	Устье р.Айлама	N42°10'17.39 E78°15'00.39	2940		1,07±0,05	1,49±0,10
KZS-4-16	Р. Чон-Кызылсу, после слияния с р.Кашкатор	N42°11'37" E78°12'04"	2580		1,10±0,03	3,27±0,14
	Р. Чон-Кызылсу, после первого правобережного	N42°12'24" E78°11'24"	2490			



# Места отбора ледниковых проб морено-ледникового комплекса Адыгене Северный Тянь-Шань



<b>Sample code – year of sampling</b>	<b>Location</b>	<b><math>^{34}\text{U}/^{238}\text{U}</math></b>	<b>Uranium content, <math>10^{-6}</math> g/l</b>
<b>1A-2014</b>	<b>Снег Аныгене</b>	<b><math>1.00 \pm 0.04</math></b>	<b><math>0.11 \pm 0.01</math></b>
<b>3A-2014</b>	<b>Приледниковое озеро 1P</b>	<b><math>1.00 \pm 0.04</math></b>	<b><math>0.33 \pm 0.04</math></b>
<b>5A-14</b>	<b>Озеро 7Т термокарстовое</b>	<b><math>0,98 \pm 0,04</math></b>	<b><math>1,4 \pm 0,2</math></b>
<b>6A-14</b>	<b>Озеро 12Т термокарстовое</b>	<b><math>1,04 \pm 0,04</math></b>	<b><math>1,40 \pm 0,2</math></b>
<b>4A-2014</b>	<b>Озеро 2D- Адыгене</b>	<b><math>1.26 \pm 0.10</math></b>	<b><math>0.7 \pm 0.2</math></b>
<b>7A-2014</b>	<b>Озеро 6Т термокарстовое</b>	<b><math>1.10 \pm 0.05</math></b>	<b><math>1.54 \pm 0.05</math></b>
<b>8A-14</b>	<b>Озеро 8Т термокарстовое</b>	<b><math>1,14 \pm 0,08</math></b>	<b><math>1,50 \pm 0,08</math></b>
<b>9A-14</b>	<b>Озеро 9Т термокарстовое</b>	<b><math>0,92 \pm 0,08</math></b>	<b><math>1,99 \pm 0,25</math></b>
<b>10A-2014</b>	<b>Озеро 10Т термокарстовое</b>	<b><math>0.97 \pm 0.08</math></b>	<b><math>4.1 \pm 0.7</math></b>
<b>11A-2014</b>	<b>Озеро 11 термокарстовое</b>	<b><math>1.01 \pm 0.04</math></b>	<b><math>54.6 \pm 0.2</math></b>
<b>12A-2014</b>	<b>Исток р.Адыгене- выход из-под морены</b>	<b><math>1.16 \pm 0.08</math></b>	<b><math>1.9 \pm 0.2</math></b>
<b>KZS-27-16</b>	<b>Р.Адыгене, устье</b>	<b><math>0.91 \pm 0.10</math></b>	<b><math>0,31 \pm 0,05</math></b>



### Изотопный состав урана вод в зоне формирования стока р. Ала-Арча

Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота м		$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$\text{C}_\text{U} \cdot 10^{-6}$ г/л	
KZS-24-16	Р.Ала-Арча, верховья	N42° 54'98.30 E74° 48'69.63	2260		1,17±0,03	4,06±0,16	
KZS-25-16	Р.Акса́й перед впадением в р.Ала-Арча	N42° 54'9830 E74° 48'69.63	2253		1,02±0,02	5,14±0,18	
KZS-28-16	Родник, правый борт р.Ала-Арча	N42 ° 57'21.98 E74 ° 48'2171	2093		1,10±0,11	6,45±0,22	

### Верховья р.Чон-Каинды, западный участок высокогорных озер

Шифр проб	Место опробования	Дата отбора	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$\text{C}_\text{U}/10^{-6}$ г/л
S-8-92	Свежий снег	10.08.92	0,99±0,05	0,25±0,05
S-4-92	Оз. Верхнее боковое	08.08.92	1,07 ±0,02	0,20±0,05
S-6-92	Озеро малое нижнее	13.08.92	1,02 ±0,02	0,39 ±0,03
S-2-92	<i>Оз. малое верхнее</i>	<i>05.08.92</i>	<i>1,20 ±0,05</i>	<i>0,53±0,03</i>
S-1-92	<i>Оз. среднее (западное)</i>	<i>05.08.92</i>	<i>1,16±0,02</i>	<i>0,74±0,02</i>
S-5-92	Озеро среднее боковое	13.08.92	0,94±0,04	0,78 ±0,03
S-3-92	Оз. приледниковое верхнее	06.08.92	0,91 ±0,01	1,28 ±0,03
S-7-92	Озеро нижнее западное	14.08.92	0,95±0,01	1,48 ±0,08
Среднее $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ без проб 1и 2			0,98±0,02	0,20 - 1,48

Иная и очень контрастная картина наблюдается в соотношениях изотопов урана в водах, претерпевающих глубинную циркуляцию, в источниках, контактирующих с породами урановых аномалий и в зонах горно-рудного производства. Если значительная доля стока горных рек формируется за счет подземных вод, претерпевших длительный путь циркуляции в зонах разломов земной коры, то в уране их вод наблюдаются значительные отклонения соотношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  от изотопного равновесия (в водах р. Чу это отношение равно 1,6, в водах р. Кызыл-Суу Алайской 2,7). Такие особенности миграции изотопов урана связаны с преимущественным выщелачиванием дочернего изотопа  $^{234}\text{U}$  при переходе из горных пород в воду. Этот изотоп образуется из  $^{238}\text{U}$  в процессе одного альфа-распада и двух – бета-распадов и претерпевает в действие отдачи, в результате чего в кристаллической решетке образуется область разупорядочения атомов, из которой  $^{234}\text{U}$  легче, чем его материнский изотоп  $^{238}\text{U}$  мигрирует по микрокапиллярам из пород во флюиды. В результате воды зон разломов земной коры, особенно напорные термальные воды, как правило, при сравнительно низких концентрациях урана имеют существенные нарушения радиоактивного равновесия генетически связанных в ряду распада его изотопов.

- В случае омывания подземными водами зон урановых аномалий или разрушенных пород преимущественным процессом миграции урана является его растворение при незначительной роли выщелачивания легкого изотопа. В этом случае воды обогащаются ураном с близким к равновесию соотношением его изотопов.



- Описанные процессы видны по результатам изучения изотопов урана в водах высокогорного золоторудного комбината Кумтор. Здесь на небольшой площади горнодобывающего карьера наблюдается загрязнение приледниковых вод ураном с различными изотопными сдвигами – от близких к равновесию (воды р. Кумтор) до 220%-ного избытка  $^{234}\text{U}$ .

Характерно, что при неизменной гидрологической обстановке соотношение изотопов урана в водных источниках остается постоянным в течение десятилетий.

- Обнаруженные особенности формирования изотопных соотношений  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  при переходе урана из пород в воду делают это соотношение удобным параметром изучения генетического состава природных вод и оценки долей стока основных притоков, формирующих водные ресурсы горных рек. Однако механизм миграционных особенностей изотопов урана требует дальнейшего изучения с привлечением моделей механики жидкостей.





# Изотопный состав урана во льдах и водах месторождения Кумтор

Sample code – year of sampling	Location	Cu, мкг/л	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
К-3	Старый лед ледника Сарытор	0,56±0,04	1,66±0,06
К-21	Водоток из карьера	9,7±0,71	2,22±0,06
К-7	Устье ручья Лысый	6,1±0,6	1,37±0,02
К-61	Озеро Петрова	2,7±0,2	1,23±0,05
К-8	Р.Кумтор до слияния с ручьем Лысый	2,6±0,1	1,12±0,02
К -13	Ледник Лысый, лед старый	2,6±0,1	1,12±0,02
К-9	Р.Кумтор после слияния с р.Лысый	0,89±0,06	1,54±0,05
К-5-16	Р.Кумтор до слияния с ручьем Сарытор	4,4±0,2	1,28±0,03
К-4-16	Ручей Сарытор	10,1±0,4	1,64±0,04
К-6-16	Р.Кумтор после слияния с ручьем .Сарытор	7,0±0,3	1,46±0,04
Кар 1-14	Ледник Карабаткак	0,17±0,06	1,00±0,06

## Основные результаты

- В атмосферных осадках, ледниках и приледниковых водах обнаружены измеримые концентрации урана -самого тяжелого элемента на Земле, с равновесным соотношением его изотопов  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  за счет растворения атмосферной золовой пыли
- В зонах формирования стока горных рек происходит обогащение вод ураном как за счет растворения последнего из водовмещающих пород, так и за счет преимущественного выщелачивания дочернего изотопа  $^{234}\text{U}$ .
- Отклонение отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  от равновесия в речных водах является надежной изотопной меткой каждого водного источника, зависящей от ряда региональных особенностей взаимодействия системы вода - порода: наличия урановых аномалий, степени разрушенности водовмещающих пород, близости глубинных зон разломов земной коры.

*Спасибо за внимание!*

